

基調講演

「地震と火山の日本に生きる～地球科学からみたリスク・マネジメント～」

講師 鎌田 浩毅 氏

京都大学大学院人間・環境学研究科 教授

京都大学総合人間学部 教授

こんにちは。鎌田でございます。まず、ニッセイ基礎研究所シンポジウムにこんな格好で現れたのは、私が初めてではないかと思えます。これには深い理由があり、私の学問と関係するのです。火山学、大きくは地球科学です。高校で言うと地学なのですが、その中に火山を研究する学問があります。火山といえばマグマ、マグマといえば赤ということで、赤い服で登場すると、私が何者かが3秒で分かってもらえます。

何でこんなことを考えついたかという、テレビです。テレビに出て、パネルディスカッションがあります。いろいろな学者の先生が並んで、僕が赤い服を着て出ると、キャスターの方が「その赤い服は何ですか」と来るのです。「待ってました」とばかりに、「これはマグマの赤です。専門は火山学です」と言うと、3秒で伝わるわけです。

というわけで自己紹介にいいということと、もう一つは「人は見掛けが9割」という言葉がありますが、まず自分が何者かをファッションで示します。

これは落語で言えば「つかみ」です。「つかみ」が一番大事で、講演会のときも、まず赤い服で登場するのです。そうすると、聞いてくださった方が次の講演依頼をするときに、「あの赤い服が良かったです」と。ですから次も赤というわけで、結局、一回赤い服を着たら、次から次へと赤い服になるわけです。

ちなみに、これは大学に行っても同じです。大学の授業もファッションから入ります。最近の学生は、なかなか授業に出てきません。特に京都大学は授業の出席率が悪いことで有名です。どうやって出させるかという、学生に関心があること。例えば、若いので、洋服などに興味を持つわけです。

あるとき、僕は授業の後にパーティーがあって、少しおしゃれな服を、時間がなくて、そのまま授業に着て出てしまったのです。そうしたら、「先生、今日のその服は何ですか」と、学生の目の色が違うのです。ですから、地球科学よりも服の方に、彼らに関心があるのです。

「これはいけるな」と思って、次の授業はまた服を変えていきます。そうすると、「前回、何か派手な服を着てきたけれども、今日は何事ですか」ということで、毎回、服を変えていくのです。そうすると、学生は服につられて来るのです。

次の週はまた変えていって、結局、15回授業があると15着です。これは「相手の関心に関心を持つ」というコミュニケーションのセオリーです。つまり、学生の関心に僕が関心を持って、まず学生の関

心に合わせるわけです。

出てきたら、あとは面白い授業をして、地球科学に興味を持ってもらうということで、まず相手の関心をつかんで、それからこちらの関心である火山学、地球科学を学んでもらうという構造なのです。

というわけで、これは講演会から授業から、それからテレビも同じなのですが、すべてコミュニケーションのツールというか、戦略としてあるわけです。

何でこういう話をしたかという、これは私の火山学の研究にも関わります。まず大学を卒業して、すぐに通産省に入りました。通産省の地質調査所といって、地球科学の国立機関です。今はつくばにある独立行政法人産業技術総合研究所になりましたが、当時は国立の研究所で、そこに入って19年ほどおりました。

1—火山は災害を起こす

今から15年前に京都大学に着任しました。最初は授業が下手なので、先ほどのようにとにかく授業の工夫をしました。私の専門は火山学で、20年ほどした火山学の研究を、今度は大学に来て続けようと思ったのですが、火山学は早い話、マグマがどう出るかとか、どういう災害が起こるかという話なのですけれども、研究だけしていても駄目なのです。

例えば、2000年の3月に北海道の有珠山が、6月には三宅島が噴火を起こしました。その少し前、1991年には長崎県の雲仙普賢岳が噴火して、火砕流で43人の方が亡くなっているのです。というわけで、火山というものは災害を起こします。

結局、われわれの火山学は、象牙の塔にこもって研究しているだけでは駄目で、それを一般の方に使ってもらおうというか、学問の成果を利用して自分の身を守る。それから、企業の方、工場を持っている方には、そういう財産を守るためにどうすればいいか。そのように使っていただいて、初めて学問は活きるわけです。

特に国立大学は、全部独立行政法人化しました。その後、自分たちの研究費は自分たちの力で稼がなければいけなくなってきました。そのときに、ただ好きな火山の研究をしているだけでは駄目で、それをどうやって使っていただくのか、そこで大きな問題が生じました。

それは、僕ら専門家が専門家の言葉で、専門家の概念で話していたのでは全然伝わらないということです。早い話が去年の東日本大震災も、ある程度の地震が起きるという予測はあったわけです。地震が起きたら何が起きるか、それをわれわれは地球科学の専門家として知っていました。でも、それがきちんと伝わってないわけです。それによって2万人近い方が亡くなりました。

また、1995年の阪神・淡路大震災の際に、神戸の直下で地震が起きました。活断層が動いて、6400人を超える方が亡くなりました。やはり同じように、地震に対する対処の仕方がきちんと伝わらなくて、それでたくさんの方が亡くなったわけです。そういう災害が繰り返されます。

その問題は何かというと、結局、コミュニケーションの構造なのです。地震学の日本のレベルは世界トップクラスです。火山学もそうです。僕らは火山学は世界一だというのですけれども、それは世界で一番火山の密度が高いからです。そういうところで研究していた学問が一般には伝わらないというか、利用していただけません。そのギャップが、まさにコミュニケーションギャップで、先ほど申

し上げた「相手の関心に関心を持つ」ことが必要です。

つまり、われわれ学者は日本国民の「関心」にあまり関心を持ってないのです。早い話が大学で研究していて楽しいから、どんどん学問は進むわけで、でも、一般市民の関心に関心を持って伝えないと、本当には地震学は生きません。やはり同じように、何千人の方が亡くなる地震がこれからも起きるだろうというわけで、そのコミュニケーションギャップをどう埋めるかということが、私の研究の現在のテーマになっています。

つまり、火山学というサイエンスの研究から、「防災」「減災」という言葉もありますが、災害を防ぐ、災害を減らすためには、専門家と非専門家の間をどうつなぐかがすごく重要になってきました。

話を戻して、赤い服もその一つの戦略で、どうやって伝えるか、最初に関心を持ってもらうか、それから、その関心をどうつなぐかという意味で大変重要です。

というわけで最初が赤い服で、私がこれまで何をしてきたか、これから何をしようとしているかというご紹介でした。

2—東日本大震災は終わっていない

今日お話しするポイントが四つあります。まず、東日本大震災は終わっていないということが大きなテーマです。四つに分けて話しましょう。

一つは「海」の地震です。海でまだ地震が起きます。2番目が「陸」です。陸上でも地震は起こるのです。昨日、新潟県で震度4の地震がありました。そういうことが起きます。3番目が「火山」で、狭い意味での私の専門ですが、これから火山の噴火が起きます。その中には富士山も入っています。それから、4番目が「西日本大震災」です。これが最終的に皆さんにきちんとお伝えしたい内容なのですが、この四つがこれから起きます。

3.11と言っていますが、これは9.11になぞらえています。結局、9.11というのは、2000年にニューヨークのビルにジェット機が突っ込んで、世界の国際政治の状況が変わったわけです。

では、3.11で何が変わったかということ、日本列島の地盤が変わってしまいました。つまり、地球科学の問題なのです。われわれが住んでいる地面が、これから幾らでも揺れます。幾らでも噴火します。それがどのくらい続くのでしょうか。東日本でざっと20年ぐらいです。次に4番目の西日本に場が移ることが、これからわれわれ日本人全員が一番対処しなければいけない喫緊の課題です。

3—M9の地震の意味

まず海からいきましょう。そもそも、地震が起きたのは宮城県沖です。それから北の岩手県、青森県沖、南の方で福島県、茨城県、その県の太平洋側で地震が起きたわけです。しかも、その地震はマグニチュード9.0といわれています。M9の地震が起きたのです。この意味をご紹介します。

Mというのはマグニチュードで、地震のエネルギーの大きさを示します。ですから、地下ですごい地震が起きました。地震とは何でしょうか。岩石が割れるときに波を出します。岩石がたくさん割れると強い波になって、地面も揺れるわけです。そこでマグニチュードと震度という言葉が出てきます。

マグニチュードというのは、地下深い50kmとかで割れて、その波が数百km離れた所まで来る地震の大きさをわけです。

M9というのは、そのほかにM8や7などの数字があって、数字が1違うと32倍違います。ですから、M8は32分の1なのです。これからM7という数字が出てきますが、では、M9とM7はどのぐらい違うかということ、 32×32 で、ざっと1000倍です。ですから、Mが二つ違うと1000倍違うということです。これは対数 (log) の世界で、数字が1違うと、とんでもなく大きい地震になるということです。

4—海地震の特徴

M9の地震が起きると、余震というものが起きます。今でも茨城県沖、宮城県沖、福島県沖で地震が起きています。ときどき仙台でも震度3などがありますが、あれが余震です。

余震というのは、大きい地震が起きたら、その割れ残りがぴきぴきと割れます。M9の地震ということは、結局、太平洋沖で南北に500km、横方向に200kmぐらいの巨大な面積が割れたのです。そうするとM9という、これまで日本が経験しなかった地震が起きました。

それだけでは終わらなくて、その500km×200kmの面積の地下深いところに、まだ割れ残りがあるのです。そこがときどき割れて余震を起こします。

では、余震はどのぐらいかということ、最大M8です。M8でも大変で、M9で東京は震度5強ぐらいでした。M8でも震度4とか、下手をしたら5になります。

M8というのは、実はわれわれが3.11が起きる前に想定していた最大の地震です。西日本の南海地震などはM8と想定して、10mの津波が来て大変な騒ぎだと思っていたのですが、去年はM9が来てしまったから、津波が20mクラスになって、もっと被害が大きかったわけです。M8というと、1小さいから大したことないと思うけれども、これでもこれから10mや5mの津波が来るのです。

そこで困るのは、今、東北地方の防波堤や防潮堤は全部壊れています。主なものは8割方壊れてしまいました。プラス、東北地方の太平洋岸は、1～2m地盤沈下しています。つまり、地震の後には地盤が沈下して、そうでなくても高潮などが来ると海水がかぶる所が、もっと低くなっているわけです。その低い所に、また、10m、5mの津波が来たら、防波堤も壊れてありませんので、この災害が一番怖いのです。

では、M8の地震はいつ来るでしょうか。まだまだこれから来るのです。例えば3年後とか、7年後に起きてもおかしくはないのです。

では、何でそういうことを言うかということ、われわれがデータを持っているからです。ここで地球科学のセオリーというか、考え方があります。「過去は未来を解く鍵」という言葉があります。つまり、過去を見ると未来が予測できるのです。

現実に2004年12月にインド洋のスマトラ島沖で地震が起きました。30万人近い方が亡くなったのですが、それはご記憶に新しいと思います。当時、直後に津波の映像などが流れました。あれでもびっくりしたのだけれども、今回の3.11は、それを上回る映像が流れました。とにかく、2004年12月のスマトラ島沖の地震がM9.1なのです。それを見ると、将来、3.11がどうなるかが予測できるのです。

海の地震では、M8.3や8.6の余震が3年後とか、一番長くて7年後に起きているのです。つまり、M8の地震が、まだまだこれから起きてもおかしくないということに注意しなければいけないのです。今、小さいM5や6は、しょっちゅう起きています。しかし、最大のM8がこれから来てもまったく不思議はないということ、皆さんに知っておいていただきたいのです。

それから、次も海の話です。拡大地震というものがあって、何が拡大するかというと、少し頭で想像してください。東北地方の太平洋沖、南北500kmぐらいの所に地震の断層があるのです。その北側と南側、それが割れるのです。それを拡大地震といいます。

具体的には青森県沖、下北半島の沖合、南の方は千葉県房総半島沖が拡大域なのです。これも先ほど言った2004年のスマトラ島沖地震で起きた現象です。

ある所でM9の地震が起きるのだけれども、それだけでは済まなくて、そこから遠い所にやはりひずみが生じて、そこが割れて地震を起こすのです。これも3年、5年というオーダーで、その後になります。これを拡大地震といいます。

拡大地震で何が一番怖いかというと、今、可能性があるのは、下北半島沖と房総半島沖ですけれども、南の方がより大問題です。房総半島沖ということは、首都圏に近いのです。これも、やはりM8クラスが起きます。房総半島には九十九里浜があります。あそこは国定公園で、きれいな浜です。あそこは国定公園ですし、防波堤や防潮堤はありません。そこに6m、8mクラスの津波が来る可能性があります。

かつて、1677年に房総半島沖で地震が起きたことがあります。延宝地震というのですが、その地震のときに、やはり8mぐらいの津波が起きた痕跡が残っているのです。ですから、房総半島沖が拡大地震で割れると、これが一番怖いのです。

例えば首都圏は、房総半島沖でM8クラスの揺れが起きれば、宮城県沖よりももっと近いですから、もっと揺れるわけです。震度5から6強になる可能性があります。それに加えて、津波が千葉県の沿岸を襲うという意味では、拡大地震が怖いわけです。

5—陸の地震の特徴

次が陸の地震です。今のような地震の震源域は海ですが、言葉として「震源域」という言葉を使います。たいてい震源域は海なのです。しかし、その震源域が陸になることがあります。つまり、陸上の直下でも地震が起きることがあります。これが2番目のテーマです。

直下型地震といいます。今、新聞やテレビなどをにぎわせている首都直下地震がそうですが、日本列島の陸の下で地震が起きます。これにもきちんと理由があります。海の地震が起きて、3.11で巨大なM9の地震が起きました。そうすると、結論から言うと、日本列島がアメリカの方、東側に5mほど引っ張られるようになったのです。

それはなぜかということ、まず簡単な地球科学の話で、よくご存じのように、プレートというものが沈み込んでいます。太平洋からプレートが沈み込んでいて、そのプレートがずっと沈み込むと、ここがたわむのです。たわんで、たわんで、持ちこたえられなくなったときに、ぽんと跳ね返って地震が起きるわけです。これが地震のメカニズムなのです。そのときに、日本列島が少し変わってしまった

のです。

例えば、陸地全体がたわむのです。宮城県や福島県の海岸沿いは、1～2m沈降しました。それから、海の中のプレートが少しずつずれて、持ち上がったままになっています。もう一つ、横方向に日本列島自身がずれているのです。

つまり、物質がどんとって戻っただけではなくて、行きすぎるのです。行きすぎるために宮城県は地盤沈下するし、日本列島全体が東西方向に引っ張られます。こういうことが生じているのです。これが陸の地震を起こす理由です。

それはどういうところに効いてくるかというと、地面が5m引っ張られるということは、そのストレス、ひずみが至る所にかかっているということです。そうすると、日本というのは地震が多いところで、断層があります。断層というのは、地震が起きて、そのずれが地上に出たところです。

地下で地震が起きると岩石が割れるわけです。その割れ目が地上に達すると、地表も1～2mずれるのです。例えば阪神・淡路大震災のときは、そのずれが2mぐらい地上に出ました。野島断層といいます。淡路島に断層の痕跡が出て、今でも観察できます。断層の上に覆いを作って、博物館になっています。

ですから、今でも2mのずれは観察できますが、そういう活断層が日本列島には至る所にあるのです。あるということは、過去に地震を起こして地面をずらしたという証拠なのです。過去に直下地震をその場所で起こして、その一部が地表に出たという証拠があるのです。

では、日本列島にどのぐらい活断層があるかというと、2000本です。2000というのはめちゃめちゃ多い数で、要するに各県どこにでもあるのです。「先生、じゃあ、どこで暮らせば地震に遭いませんか」とよく聞かれるのですが、答えは「ノー！」です。そういう場所はありません。どこでも地震は起き得ます。それは活断層がどこにもあるし、それがいつ動くかわからないからです。

まず、2000本ある状態の中で、3.11の後、この日本列島が引っ張られるということが起きています。このことは、そうでなくても日本列島の下には活断層がたくさんあって、直下型地震が起きるのに、それに輪を掛けて無理な力が掛かったということです。そうすると、地震がより起こりやすくなった状態なのです。現に3.11の直後から、至る所で地震が起きています。

例えば、長野県や秋田県で震度6の地震も起こしています。マグニチュード7や6によるものです。それは3.11以降、急に始まったのです。つまり、日本列島が引っ張られたからなのです。

では、陸の部分のどこかというと、東北地方から関東地方、中部地方、ざっと東日本なのです。ですから、東日本大震災は言葉どおり東日本に震災を起こしたのだけれども、実は続いているのも東日本なのです。

つまり、直下型地震は、東日本のどこで起きても不思議はないのです。一番怖いのは首都圏です。今、首都圏に3500万人ぐらいいます。日本の人口の4分の1を超す人間が首都圏に集中しています。その地下にある活断層が動く確率が高くなったということです。引っ張られているのですから、より不安定になりました。

直下型地震は、山の中で起きてもあまり怖くないのです。直下型地震のマグニチュードはM7です。先ほど、拡大や余震はM8と言いましたが、1小さいわけです。エネルギーも30分の1で小さいのだけれども、もしM7が直下で起きたら震度7になります。

ここで僕ら地球科学者がいつもいじめられるのは、震度7という紛らわしい数字です。これは皆さん困りますね。震度7でM7というのは、すごく意地悪しているみたいでしょう。震度は7が最高で、揺れ方です。マグニチュードは地震が起きた地下で放出されるエネルギーです。

簡単な例えで言うと、遠くで和太鼓をたたいている人がいます。どんどんどんどん強くたたいたらマグニチュードが大きい、小さくたたいたら小さいのです。たたく人の力、エネルギーの発散がマグニチュードなのです。

さて、その傍で聞いている人がいます。遠くで聞いたら音は小さいです。でも、近くで聞いたら、すごく大きい音に聞こえます。これが震度なのです。

ですから、震源に近づけば、同じマグニチュードでも震度は大きくなるし、遠くになれば小さくなります。マグニチュードは、数学的にエネルギーを計算すると出ます。その数字と震度が今までは1〜6だったのですが、阪神・淡路大震災ぐらいから7が設定されたのです。激震で地域によっては建物が60%、70%倒壊ですから、そういうものを7に設定したのです。

そうしたら、震度7とマグニチュード7の数字が一致してしまったので困ったのですが、今からも直せないのです。震度7は漢字で書く、などしないと駄目だと僕は思うのです。震度「シチ」と言うとか、そういうことをしないと混乱する。とにかく、陸でも地面が引っ張られて、マグニチュード7という、かなりのエネルギーを解放します。それによって、一番地上では震度7になります。震度7になると、80%の木造住宅が倒壊するようなことが起きます。

今、首都直下地震で大騒ぎになっています。東京も東日本の中で例外ではないという意味で、これがわれわれが一番困っているポイントです。

事実、やはり「過去は未来を解く鍵」で、われわれが明治時代の海の地震を見ると、1896年に明治三陸地震、1933年に昭和三陸地震が起きて、その後いろいろな所で直下型地震が発生しています。ですから、結局、海の地震の後に陸の地震が起きることは過去にもあるし、これからも起こり得ると言えるわけです。

6—火山の噴火

さて、次は火山の噴火です。例えば富士山を想定してください。火山学は簡単で、富士山の直下に「マグマだまり」があります。マグマがたまっている、子供のような命名ですが、これは立派な学術用語です。英語で言うとMagma Chamberで、大学の授業では「マグマだまり」というと小学生みたいです。Magma Chamberと英語を書いてからマグマだまりという和訳を書きます（笑）。

とにかく、マグマがたまったところがあって、その上にある通路を火道とって、上に火口があるのです。ご存じのように、富士山を登ると、直径700mぐらいの大きなすり鉢状の穴があります。火口はなぜできるかというと、マグマが吹き飛ばすからです。

だいたい火山学というものは、この3要素で、結局、マグマだまりがあって、火道があって、火口があって、終わりです。もし、これだけだったら、僕ら科学者は失業するわけです。3つの基本要素を伝えてもうおしまい、ですから（笑）。でも、火山学者が失業しないのは、単純にこのマグマが出るプロセスが千変万化するからです。

マグマが地下でパンパンになって、上に出てくることを噴火といいます。火山というのは、マグマが積もったものです。この出方が、実はすごくいろいろなことを起こすのです。例えば、一つは溶岩流です。溶岩が流れます。マグマは液体です。

マグマは、岩石を1000℃に熱すると、だんだん赤くなってオレンジ色になって、最後は白熱します。そして溶け出して液体になります。1000℃に熱すると、個体が液体になるわけです。そうすると、流れ出して溶岩になります。よくテレビでも、ハワイの溶岩が流れた映像があります。あれは900℃とか、少し温度が下がっても流れ出すわけです。これを溶岩流といいます。

2番目は火山灰です。マグマが上空に出てばらばらになります。ばらばらになって冷やされて、飛んでくると火山灰です。何千kmも遠くまで飛んでいくのです。

あとは、先ほど少し申し上げた、1991年、長崎県の雲仙普賢岳で出た火砕流です。火砕流もマグマの出した技で、火が砕けて流れるという字のとおり、マグマが砕けてばらばらになるのです。しかも、ばらばらになって、そのまま流れ出すのです。

粉体流という物理学の言葉があります。粉状態になって、これは化学工学で使われるのですが、小麦粉やセメントを袋詰めするときに、いったん粉々にして空気を混ぜると流動するのです。流動性が良くなります。それで運んで、あるところで袋を用意しておいて、少し速度を落とすと袋の中に入っていくのです。そうして詰めていく時に粉体流という現象があります。

ですから、物をばらばらにして空気を混ぜると、よく流れるのです。同じように火砕流もマグマを火山灰のようにばらばらにして、適度に空気や火山ガスなどと混ぜて斜面を流します。火山の斜面から火山灰などが出て流れ出すと、火砕流になるのです。

火砕流は何が怖いかというと、まず高温であることです。マグマの温度は1000℃で、溶岩で流れるときも900℃ぐらいあります。火砕流のときはばらばらになるので、もう少し低いのですが800℃ぐらいあります。800℃のものが一気に流れてきます。

実は、火砕流は速度がものすごく速いのです。時速100kmですから、火砕流が流れてくると自動車でも逃げられません。時速100km制限の高速道路で、直線道はいいけれども、カーブしたら追い付かれるぐらいの速さなのです。セ氏800℃のものが時速100kmという速度で襲ってくるというのは、めちゃめちゃ怖いでしょう。ですから、逃げられないのです。

雲仙普賢岳でも、あっという間に数分で襲ってきて、43の方が亡くなってしまったのです。ですから、火砕流が流れてくることが分かったら、その場所からは前もって逃げていなければいけません。これがまさに火山防災のポイントなのです。

今、三つ申し上げました。溶岩があって、火山灰が出て火砕流が出て、あとは身近なものとしては噴石というものがあります。噴石は、噴火によって岩石のような石が飛んできます。

これは何が危険かというと、富士山の場合では登山している最中の人です。富士山には年間3000万人が訪れるそうで、周りのゴルフ場や温泉なども含めて日本一の観光地です。でも、富士山の山頂は7月と8月がシーズンで、山小屋が開いて何十万人という人が登るわけです。そういう大勢の人が火口に詰め掛けているときに噴火が起きたら、まず被害が起きるのが噴石なのです。

噴石というのは、固まった岩石が飛んできます。先ほど、富士山は火口に穴が開いていると言いました。それは噴石を飛ばして開いているのです。ですから、マグマがとろとろ流した最後の方でぼん

と飛ばして、そのへこんだ部分が全部固まった岩石になって飛んでくるのです。これは怖いです。不意に、近くにいる人に向かって飛んでくるのです。大したことないではないかと思いませんか。例えば、小指の先ぐらいの石が上からぽつと落ちてきても痛いぐらいで、大したことないではないかと、皆さん思うのです。でも、そうではないのです。

石の速度が速く、時速150kmなどで飛んできたなら弾丸と一緒にです。つまり、被害というのは、単に物質の重さだけではなくて、小指の先の石が時速100km以上で飛んできたなら、頭を貫通して死んでしまいます。つまり、エネルギーなのです。エネルギーは速度の2乗に比例するので、そういう意味では、富士山のそばにいて、噴石がぼんと爆発して、非常に高速のものが飛んできたならたちまち被害に遭うのです。

今、幾つか申し上げましたが、もう一回、日本列島に戻って、マグマだまりが誘発されて火山の噴火を起こします。3.11の後に日本列島の火山が「スタンバイ」状態になったと表現します。

事実、具体的にはどのぐらいの火山がスタンバイになったかということ、まず、日本列島には活火山というものがあります。この「活」に「断層」を付ければ活断層です。日本に2000本ありますが、同じように活火山というものがあります。活火山の数は110個です。

活火山とは何かというと、これからいつ噴火してもおかしくない山で、具体的にはきちんと定義があって、過去1万年以内に噴火した経歴がある山です。ここでも「過去は未来を解く鍵」というセオリーが活きます。必ず過去を見て、その過去に起きたことが将来にも起きるだろう。よって、過去を研究することによって、未来を予測できる。これはわれわれの専門の地質学のベースなのです。

富士山も活火山ですが、1万年前より以降に噴火した山を勘定すると、110個ありました。日本には、ざっと火山といわれるものが250個ほどあります。ですから、半分弱が活火山だったわけです。その活火山110個のうち、3.11以降に活発化した火山は20個です。つまり2割ですね。

どういうことかということ、火山の下のマグマだまりで小さな地震が起きるのです。マグマだまりの周りで地震が起きるということは、マグマが活発化したということです。この中には溶けた岩石があるわけで、この周りで地震が起きると、これからマグマが上がってくるかもしれないというわけで、そういう山が2割あるのです。その中に富士山も入っています。

関東で言うと箱根山や乗鞍岳、焼岳などがありますが、そういう山の地下で地震が起きはじめました。しかも、3月11日の直後なのです。それまでは静かだったのです。一応、活火山ですから、過去に噴火した履歴はあります。日光白根山、伊豆大島などもそうですが、3.11の前は3年ほど静かだったのが、突然、20個の山の下で地震が起き始めたのです。

ですから、われわれはこうだろうと推定するわけですが、その20個の山の下で地震が起きはじめて、スタンバイ状態になったのです。幸い、どれも噴火していません。しかし、スタンバイ状態が今も続いているということです。

この中で一番怖いのが富士山です。4日後の3月15日、富士山のマグマだまりで地震が起きました。この地震は4日後です。しかも、深さで言うと、マグマだまりが20kmぐらいで、地震が起きた所が14kmの深さ。ということは、マグマだまりの直上ですね。場所は富士山の火口の下、頂上の下ということは、マグマだまりの上が割れたということです。地震というのは岩盤が割れたことなのです。

僕らはどう表現するかということ、「マグマだまりの天井にひびが入りました」と表現します。ひび

が入ったから、次はどうなるか。スタンバイ状態がより活発化したということです。

富士山を例に取って説明しましょう。何で僕が富士山の研究をするかということ、富士山を知れば日本中の火山が分かるからです。富士山は「火山のデパート」といいます。先ほどの火山灰や溶岩、火砕流、噴石などを全部出すのです。ですから、富士山を研究したら、すべての火山災害が分かるのです。

もっと言えば、富士山を研究したら世界中の火山が分かります。自然科学というのはインターナショナルな学問で、日本で研究した内容は、必ず英語で論文を書きます。世界中の火山学者が1000人ぐらいいて、それを読みます。

富士山で分かった成果は、イタリアのエトナ山でもアメリカのシヤスタ山でも使われるわけです。逆に、アメリカ、ニュージーランド、イタリアの研究成果はみな富士山に当てはまるわけです。

そうすると面白いことがあって、例えば僕はよくイタリアに行くのですが、シチリア島にエトナ山があります。ちょうど富士山と同じような山です。大きさも同じだし、高さも玄武岩という岩石の性質も同じなのです。

そうすると、エトナ山に行くと、全然、違和感がないのです。富士宮に来たような感じで、登ると小御嶽神社があるのではないかという感じなのです。噴石があって、玄武岩の溶岩が流れていて、つくづく火山学はインターナショナルだなと思うのです。

でも、麓に下りていくとイタリア語なのです。お昼ご飯を食べようと思って注文すると、全然、通じないのです。彼らは英語も駄目で、文化が全然違います。

余談ですが、イタリアに調査に行くと、必ずミラノを通過して帰ってきます。今、京都に住んでいますから、関空～ミラノ間に直行便があるのです。そうすると、ミラノに行って、ミラノからシチリア島に国内便で行くのですが、帰りは必ずミラノ経由で、無理すればすぐに帰ってこられます。

でも、それをうまくずらして1泊するのです。そうすると何がうれしいかということ、ミラノのモンテナポレオーネ通りで一流のファッションを楽しむわけです。半日ぐらい時間をつくって、モンテナポレオーネ通りでファッションを涉猟して、ミラノスカラ座でオペラを見て、次の日にゆっくり帰ってくるのです。これは火山学の恵みの一つです（笑）。やはり研究だけしていたのでは駄目で、これは後半に話したいのですが、研究者は芸術や文化など、いろいろなことにも豊かでなければいけません。

一方、エトナ山に登ると富士山と同じで、全然、違和感がないのです。現地の研究者は英語で話すから、そういう意味でもどこへ行っても世界中一緒なのですが、ミラノに行くと全然違うのです。

例えばアンブロジアーナ美術館があります。そこにはカラヴァッジョの名画があったり、日本で絶対に見られないものがあるって、美術館自身が中世の寺院のようなところで、非常に文化の違いを感じます。そうやって豊かな気分になって、日本に帰ってくると暗い気持ちで溜まったメールを開けるのですが（笑）。火山はインターナショナルで同じですが、でも文化は違って面白いですね。その両方が必要だし、われわれは火山学者として世界中の情報を全部得て、噴火予知をするのです。

7—噴火予知について

エトナ山で研究開発したことが、富士山で応用されるわけですが、富士山は「噴火のデパート」であり、かつ富士山が分かれば世界中の火山が分かるという意味で、ここで噴火予知の話をしたと思います。

マグマだまり、火口があって、富士山は噴火する前どうなるでしょう。ここで噴火予知ができます。深さ20kmぐらいにあるマグマだまりで活動が始まると、深さ15kmの所で「低周波地震」というものが起きます。

低周波は周波数が低い、つまり、ゆらゆら揺れる地震です。われわれが経験するタンスなどガタガタ揺れるのは高周波の地震です。しかし、低周波の地震は、まず人間には分かりません。水をたらいに入れて揺らす感じです。マグマだまりは液体ですから、そういうことに由来する地震なのです。こういう低周波の地震が、地下15kmですから、ちょうどマグマだまりの上ぐらいで起きるのです。そうすると噴火の始まりだと分かります。

低周波地震は機械でしか観測できません。ゆらゆら揺れるもので、かつ、人体には感じません。しかし、低周波地震を観測するために、富士山の周りには地震計が数10個ぐらい張り巡らされています。

低周波地震の後、上の方に地震がずれていきます。その後、1週間ぐらいたつと今度は有感地震です。これは有感地震ですから、われわれの体でも感じます。一番大きい有感地震は震度5ぐらいです。僕は北海道の有珠山や伊豆大島で経験しましたが、結構大きいです。震度4や5で、もう立ってられないぐらいの地震が起きます。このように、マグマが上がってくると地震を起こすのです。

マグマだまりは普段は静かなのだけれども、噴火の前には必ず何らかの地震が起きはじめます。それは何かというと、マグマだまりが膨れるからです。マグマだまりというのは、その地下からも絶えずマグマが供給されていて、あるときからパンパンになるのです。

現在もパンパンになっているのですが、前回の噴火は300年前、1707年なので江戸時代です。それ以来、噴火してないということは、江戸時代以来、富士山のマグマだまりの下から供給されていて、富士山のマグマはパンパンに膨れている、と。膨れて、少し上の方に出てきて、何かいろいろ悪さをします。実際には熱水などの流体を揺らしたりするのですが、それで低周波地震を起こすのです。

低周波地震が起きて、その後、マグマは上に行きます。上に行くと、地震が起きた位置がだんだん浅くなります。浅くなるから、地上に近づきます。そうすると、われわれの体を感じる「有感地震」になるのです。

その後、一番最後に「火山性微動」というものが起きます。何でこんなマニアックなことを言うかというと、これから富士山が噴火しそうなので、一応、皆さん全員に覚えておいてほしいからなのです。これは僕の「科学の伝道師」としての使命です。火山性微動、微動というから、かすかに動くのです。これも機械でなければ分かりません。ですが、動くところが火口の少し下ぐらいで、少しやばいところですよ。

微動にはいろいろな動きがあるのですが、特に火口の直下で起きる微動は、噴火の数時間前から1日前ぐらいのサインで、僕ら火山学者は緊張します。つまり、最初に深いところで低周波地震が起きて、浅いところで起きる有感地震になって、最後1日前ぐらいに火山性微動が起きる。こうなると、

「さあ、もう次は噴火ですよ」ということで、完全スタンバイ状態です。それから実際にマグマが出てきて、いろいろなことをします。「噴火のデパート」が開店するのですね。

では、噴火までの期間は、低周波地震が始まってからどのぐらいかかるか、というと、ざっと1カ月です。しかし、地球科学者が言う1カ月ですから、3週間だったり1カ月と2週間だったりするので、結構アバウトですね。ですが、ざっと1カ月ぐらいと覚えておいて下さい。これも経験的なことです。でも、地震と違って、火山では噴火の予知ができる、という素晴らしいことなのです。

次に、マグマが出てくる場所はどのようにして予測するか、です。富士山は、一応、火口から開けるのですけれども、富士山が穴を開けているのは山頂火口だけではないのです。例えば、新幹線の三島駅の辺りを通るときに、ぜひ、富士山を見上げてほしいのですが、三島から静岡駅までの間、富士山は南側にぽっかり穴を開けています。これは宝永火口というのですが、巨大な穴が開いています。1707年のものです。

これはちょうど南東側にあるのですが、これが富士山の噴火の大事なポイントです。つまり、富士山にはマグマだまりがあって噴火するのですが、マグマだまりは横からも穴を開けるのです。南側だと宝永火口（1707年）ですが、北側にもあるのです。北側は富士五湖の方で、富士五湖のいくつかは実は北側の噴火によって、せき止められてできたのです。

昔は富士四湖で、四つしかなかったのです。一番大きなせの海というものが、864年に流れてきた溶岩にせき止められて五湖になったのです。精進湖と西湖になったのです。そんなことがときどき起こるのです。ですから、富士山は南に穴を開けるかもしれないし、北に穴を開けるかもしれません。もちろん山頂もあります。というわけで、この場所を特定しないといけないのです。

では、どうやって特定するか。富士山は噴火の前に山が膨れるので、膨れた場所を特定するのです。これは場所の予知です。先ほどのものは時間の予知です。1カ月前という時間の予知ですね。もう1つ、大事な噴火予知は場所の予知なのです。その場所が北か南かは、富士山が少しだけ膨れる場所を見つけることで分かります。南側が膨れれば、南にマグマが上がってくる、北側が膨れれば、北側にマグマが上がってくるということで分かります。

どのぐらいの観測をするか、すごいのです。富士山の山頂やすそ野が1mm高くなることを観察し、高くなった場所を確定します。僕はよく言うのですが、お正月におもちを焼いている人がいます。1万m先、つまり、10km先でおもちを焼いているのですよ。それで、おもちの先が1mm、ぷくっと膨れるのを望遠鏡で見ているのです。望遠鏡の筒の傾きが少し変わってでしょう。その傾きを測るのです。これは傾斜計といいます。すごい精度です。電氣的に測るのですが、そういう傾斜計が30個ぐらい、富士山の周りにあります。

山の傾斜がきつくなったところを追い掛けていくと、南なのか、北なのか、もしくは山頂なのか分かるのです。これは場所の予知で、こういうことによって、富士山は、一応、噴火予知ができるのです。ただし、次の問題です。「じゃあ、いつでも分かるのですかね?」、違うのです。

もう一回、時間の話に戻ります。「低周波地震が1カ月前に起きる」のだけれども、その1カ月前がいつか、が分からないのです。明日かもしれないのです。明日、「1カ月前」が始まりました。そうすると明日のニュースで「富士山で低周波地震が始まりました」といって、僕が今度は黒い服で登場します。今日のような赤い服は駄目で（笑）、実際に本当に噴火するときは、きちんとグレーの背

広で紺のネクタイです。やはり笑い事ではありませんから。しかし、今は噴火の兆候がないから、まだ赤い服でいいのです。

もしくは、この「1カ月前」は、今から1年後かもしれない。ひょっとして3年後かもしれない。ですから、1カ月前の低周波地震が明日始まるのか、1年後なのか、それを現在の火山学では予知できないのです。つまり、「1カ月前」までは分かっているけれども、この動きがいつ起きるか、が予知できないのです。

これは地震も似ているのですが、地球科学にはいつも限界があるのです。しかし、限界があるから全部駄目かということ、そうではないのです。役に立つこともあるし、事前に分かることもあります。

例えば場所の予知、それから1カ月前ルールという時間の予知です。1カ月前がいつから始まるかは分からないけれども、いったん低周波地震が始まったら、有感地震、火山性微動、噴火というプロセスを通ります。これはこれで非常に大事な情報です。火山学のここ数百年の成果です。限界があるけれども、役に立つことがあるということ、ぜひ知っていただきたいのです。

やはり火山は面白いのです。災害があると、面白いなどと言っていられなくて私もグレーの背広を着ますが、でも、災害がないときは本当に面白いのです。それで火山学者になったのですね。

8—西日本大震災について

次は「西日本大震災」です。これが今日のメントピックです。西日本大震災は、この東日本大震災によって起きることとは違います。同じようなストーリーが、次に西日本で起きます。2030年代に起きるという具体的な数字があります。結論から言いましょう。2030年から2040年に西日本で起きます。

これもアバウトな話で、2030年代に何が起きるかということ、これが今話題になっている東海地震、東南海地震、南海地震の3連動です。ついこの間、9月に被害想定が出ました。津波が高知県で最大34m、それから死者の想定が32万人という話がありました。その話がまさにこの話題です。

まず、マグニチュードで言うと、M9.1が想定されています。ですから、まず皆さんに想定してほしいのは、東日本大震災はM9.0でした。9.0とほとんど同じ規模のものが、今度は西日本に場所を移します。場所は静岡県から名古屋、大阪、九州、宮崎県まで、ちょうど距離も600kmぐらいです。

先ほど東日本大震災の震源域の話をしたが、それと同じようなものです。ちょうど東北沖と同じものが、今度は静岡沖から、紀伊半島、四国沖、宮崎沖まで震源域が設定されて、同じような巨大規模で岩石が割れます。よって、同じような大揺れが起きます。

陸上では至る所に震度7が生じて、実は津波も東日本大震災より大きくなるのです。なぜならば、海の震源域が陸に近いから、津波の高さがもっと高くなるのです。とにかく、アバウトに言うと、同じ規模の巨大地震と巨大津波が今度は西日本で起きます。

問題は、西日本の方が、はるかに日本社会にとって被害が大きいわけですね。これも結論から言うと、被害の総額がざっと10倍です。東日本大震災の被害想定が、原子力を除いて20兆円といわれています。その10倍で、200兆円という試算があります。それから死者の数も、東日本が2万人弱ですが、西日本大震災では30万人を超える数の死者です。ある程度、こうした予測もできるわけです。

今、3連動と言ったけれども、この動き方が分かっています。まず、頭に少し思い浮かべてください。東の静岡県沖で起きる東海地震、真ん中の名古屋沖で起きる東南海地震、それから四国沖の南海地震、この三つがあります。この三つは、だいたい100年に1回ぐらい起きてきたのですが、過去の例を見ると、必ず真ん中の東南海地震から起きるのです。ですから、まず名古屋沖が1番、次に東海地震、3番目に南海地震、この順番で起きているので、やはり「過去は未来を解く鍵」で、次も2030年代にそうなると思います。

では、どのぐらいの時間差があるかということ、前回、1944年に名古屋沖で起きて、46年に四国沖というわけで、2年の差がありました。もう1個前、1854年は江戸時代で幕末ですが、32時間で1日半ぐらいです。もう1個前、1707年は富士山が噴火した年なのですが、1707年は15秒ぐらいといわれていました。ですから、15秒から2年まで幅があるのです。これで準備してくださいというのは、むちゃくちゃな話です。しかし、事実として地球科学が得ている情報は、こうなのです。

まず言えることは、名古屋、静岡、四国の順番で起きることです。ですから、名古屋沖で起きたら、すぐに首都圏は準備する必要があります。15秒で準備するか2年で準備するかは別として、とにかくそういう順番で起きます。大阪は少しは余裕があるけれども、似たようなものです。この情報を、ぜひ活用していただきたいのです。

それと、2030年代というのはいろいろな情報に基づいています。例えば四国沖の南海地震。かつて高知県の港がこの地震によって、地面が隆起したり沈降しました。これがかなり規則的で、その数字を見ると、次に南海地震が起きるのは2035年くらいという数字が出ます。ほかのいろいろなデータから見て、だいたいプラスマイナス5年ぐらいで、2030年から2040年に起きるとというのが、われわれ地球科学者のコンセンサスなのです。

ということは、今から20年後に東日本大震災と同じものが、今度は西日本で起きます。いや、規模的には少し大きいエネルギーを発散するものが、しかも、太平洋ベルト地帯に直撃です。それから人口が、東北地方に比べるとはるかに大きい。東北地方のGDP3~4%に対して、30~40%の200兆円ぐらいの被害になるでしょう。今度の1月に、また試算が出ますが、300兆、400兆になるかもしれません。とにかく、とんでもない話です。

ここから先は後半のシンポジウムで、またこの数字は、今度は経済学専門の先生方が、今度は財政と年金ということで、ご議論いただくのですが、私は地球科学者として、そういう世の中のことに疎いので、とにかく、地球科学から判断されることはこうですという情報だけ、まずお伝えしておきたいと思います。

想定外という言葉があるのですが、想定外には三つあって、これについても説明しておきたいと思っています。東日本大震災の地震はマグニチュード9でしたが、こんなに巨大な地震は日本列島では起きないと地球科学者は勝手に思っていました。実は、2004年にスマトラ沖で起きていたのだけれども、よもや我が日本は関係ないと思っていたのです。心理学で「正常化の偏見」というのですが、これは本当にわれわれの不徳の致すところです。本当は地球上でどこでもM9が起きるのですから、日本列島の沖合でも起きて不思議はなかったのだけれども、それを想定しなかったという誤り、それが1番目の想定外です。

それから、2番目の想定外といわれていることは「伏在する活断層」です。首都直下地震が起きる

かもしれないといって、一応、立川断層や荒川沖断層帯など、いろいろ調べられているのですけれども、実は首都圏を調査したら、もっと活断層は見付かるのです。つまり、われわれが知らない活断層が日本列島の地下にまだたくさん隠れている、という想定外です。

1番目は知っているのだけれども、正常化の偏見で、関係ないと思い込んでいたのです。よもやM9など起きるまいと思っていた想定外です。しかし、2番目は本当に専門家も知らないのです。でも、調査したらボロボロ出てくるという想定外で、これは一番怖いですね。

さて、3番目の想定外は、地球科学の根幹に関わるものです。地震という現象は、そもそも「複雑系」の現象に近いものです。例えば、割りばしを割るときに、力を加えたらどこかで必ず割れます。しかし、0.1mmの単位で、どこが割れるかを前もって言うことはできないのです。それは、割りばしという木を構成する分子の複雑に絡まった物、つまり非常に複雑な天然物が割れるからです。こういうものを複雑系といいます。岩石が割れる現象も、同じような想定外になるのではないかという見方があります。

つまり、複雑系の現象で、いかに物理学や数学を駆使しても、予知できないのではないかという悲観論があるのです。これは非常に根本的なことで、地震予知はそもそも無理ではないかと主張する人の根拠にもなっているのですが、この想定外が3番目です。

現実問題として、地震はほとんど予知できません。しかし、大揺れに対処するために、事前にまったく手段がないわけではないのです。皆さんもよくご存じの緊急地震速報というものがあります。地震発生前にあらかじめ知るのでなくて、地震が起きてちょっと後で知る。地震後に知るから、「地震予知」ではなくて、「地震後知」と僕は呼んでいるのですが。

地震が起きると、直ちに携帯電話が鳴り、テレビが緊急地震速報の画面に変わります。これは地震が起きてから、とにかく震度6などの大きな揺れが来るまでにまず自分の体を守ってもらう。10秒あれば頭を守れるわけです。子供や従業員を守れるわけです。というわけで、後知であっても、これはこれで非常に役に立っています。

一方、地震予知は、先ほど言った複雑系の可能性があるもので、あまり期待できません。研究は大事ですから、研究はしてるのだけれども、2030年までに南海地震、東海地震の予知技術が得られるか、僕は悲観的です。ですから、それには頼らずに後知でいく。つまり、緊急地震速報のような最新テクノロジーを活用して、「自分の身は自分で守る」こと実践していただきたいのです。

もうひとつ言いたいことは、今日ご説明した内容はすべて科学的な想定なのです。科学的予測と言ってもいいですね。

どういう意味かという、予測には科学的な予測と非科学的な予測があります。よく、富士山は11月3日に噴火します、などと言う人がいるのですが、これは非科学的な予測です。というのは、1カ月前ルールに照らし合わせると、この予測には科学的な根拠がないからです。

つまり、予測には科学的予測と非科学的予測があって、ナマズが動いたとか、地震雲が出たとか、うちのタマが泣いたとか、そういうものはみな非科学的な予測です。もしかして当たることもあるかもしれませんが、われわれ科学者のコミュニティーでは90%の人が賛同できないのです。というのは、科学的な根拠、もしくは理屈がないからです。

賛同できるのは科学的予測のほうで、今日申し上げた、海でM8余震が起きます、拡大地震が起き

まず、陸でM7直下型が起きます、火山噴火が起きます、富士山がスタンバイ状態です、2030年代に西日本大震災が起きます、これらはみな科学的な予測なのです。したがって、この知識はぜひ活用していただきたい。しかも、皆さんのお仕事の中で活用して、それで自分の身は自分で守るための基礎データとしていただきたいのです。

皆さんが今日初めて聞いた内容も多いでしょうが、大事なことは「知識を行動に移す」ことです。ベーコンも説いたように「知識は力なり」なのです。今日得た知識を自分の家族に持ち帰って、それから会社を持ち帰って、役所に持ち帰って、学校に持ち帰って、それをぜひ活用して、自分と家族と地域を守っていただきたい。それを次のシンポジウムにも、ぜひ活用していただければありがたいと思います。

今日はどうもありがとうございました（拍手）。